МАШИНОСТРОЕНИЕ
MACHINE BUILDING



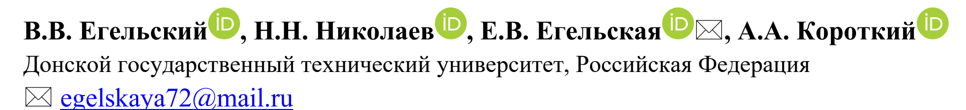
УДК 621.86/.87: 004.032.26
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-2-57-67

Научная статья



EDN: WVVMDV

Использование искусственного интеллекта для контроля надежности съемных грузозахватных приспособлений



В.В. Егельский, Н.Н. Николаев, Е.В. Егельская✉, А.А. Короткий
Донской государственный технический университет, Российская Федерация
✉ egelskaya72@mail.ru

Аннотация
Введение. Неисправность съемных грузозахватных приспособлений (СГП) создает значимые производственные риски. Этим обусловлена актуальность исследований в данном направлении. Проблема часто становится темой научных изысканий. Авторы предлагают шире использовать искусственный интеллект для мониторинга состояния СГП. В представленной работе показано, как усовершенствовать модель машинного зрения для лучшего выявления отсутствия замков на крюках СГП. Отмечена вероятность широкого распространения проблемы в производственной практике. Предложена схема стенда хранения и контроля состояния СГП. Цель исследования — продемонстрировать возможности дообучения нейросети для существенного повышения эффективности контроля СГП, обеспечивающего безопасность их применения.
Материалы и методы. Работа базируется на актах обследования 144 СГП на заводе ООО «КЗ «Ростсельмаш»» в 2022–2023 гг. Материалы обрабатывались методами математической статистики. Исследовалась нейросетевая модель, предварительно обученная по алгоритму компьютерного зрения YOLO. Ее дообучили с учетом норм браковки СГП, зафиксированных в федеральных правилах и стандартах. Из этих источников взяли изображения СГП с дефектами и отсутствующими элементами и сформировали базу для дообучения сети. Базу расширили методом аугментации. Для работы использовали платформу Roboflow.
Результаты исследования. Массив изображений для дообучения нейросети разделили на три выборки: обучающую (88 %), проверочную (8 %) и тестовую (4 %). По ним проводили обучение и верифицировали его результаты. Обучение завершилось за 260 эпох при стабильном увеличении точности работы. Полученная таким образом нейросетевая модель компьютерного зрения автоматически обнаруживает часто встречающийся дефект крюка СГП — отсутствие замка. Качество ее работы оценили по трем показателям: средняя точность (94 %), точность предсказания (88,8 %) и отклик (89,2 %). Нейросеть может в режиме реального времени получать изображение с видеокамеры и распознавать дефект крюка. При обследовании СГП на заводе «Ростсельмаш» обнаружили эксплуатируемый захват для подъема двигателей, у которого все три крюка оказались дефектными — без замков. Для исключения таких ситуаций по окончании работы целесообразно размещать СГП на специальном стенде с микроконтроллерным устройством, которое отследит наличие ряда проблем с помощью радиочастотной идентификации.
Обсуждение и заключение. Основное предназначение описанного решения — выявление и фиксация признаков несоответствия СГП требуемым нормативам. Задача может быть реализована на объектах, эксплуатирующих подъемные сооружения. В этом случае своевременно замеченные изъяны СГП позволят предупреждать производственные инциденты. В итоге можно рассчитывать на снижение материального ущерба и улучшение статистики по травматизму.

Ключевые слова: контроль состояния съемных грузозахватных приспособлений, браковка грузозахватных приспособлений, дефекты крюков для грузовых работ

Благодарности. Авторы выражают признательность коллегам — специалистам кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» ДГТУ за помощь при подготовке материалов исследования.

Для цитирования. Егельский В.В., Николаев Н.Н., Егельская Е.В., Короткий А.А. Использование искусственного интеллекта для контроля надежности съемных грузозахватных приспособлений. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2024;8(2):57–67. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-2-57-67

Research Article

Use of Artificial Intelligence to Monitor the Reliability of Removable Load-Handling Devices

Vladislav V. Egelsky, Nikolay N. Nikolaev, Elena V. Egelskaya ✉, Anatoly A. Korotkiy
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ egelskaya72@mail.ru

Abstract
Introduction. The malfunction of removable load-handling devices (RLHD) poses significant production risks. That is why research in this field is relevant. The problem has often become a topic of scientific investigation. The authors propose using artificial intelligence more extensively to monitor the state of RLHD. This paper presents a study on how to improve the machine vision model to better identify the absence of locks on RLHD hooks. A probable occurrence of such an issue in production is noted. A storage and monitoring system for RLHD condition is proposed. The aim of this study is to demonstrate the potential for further training of neural networks to significantly enhance the efficiency of RLHD monitoring, ensuring their safe use.
Materials and Methods. The work is based on the results of a survey conducted at the LLC "KZ Rostselmash" plant from 2022 to 2023, involving 144 RLHD. Mathematical statistics methods were used to process the data. A neural network model previously trained using the YOLO computer vision algorithm was studied. It was retrained taking into account the norms of the rejection of RLHD, specified in federal rules and standards. Images of RLHD with defects and missing parts were collected from these sources and used to create a training database. The database was expanded by augmentation. The Roboflow platform was used for work.
Results. The array of images used for further training of the neural network was divided into three samples: training (88%), validation (8%) and test (4%). These samples were used to train and validate its results. The training was completed after 260 epochs, with a steady increase in accuracy. The neural network model of computer vision obtained in this way automatically detected a common defect in the RLHD hook — the absence of a lock. Its performance was assessed using three indicators: average accuracy (94%), prediction accuracy (88.8%) and response (89.2%). The neural network could receive images from a video camera in real-time and recognize hook defects. During the RLHD inspection at the Rostselmash plant, a grab for lifting engines was found to have all three hooks defective — without locks. To avoid such situations, at the end of work, it was recommended to place the RLHD on a special stand equipped with a microcontroller device that could monitor for a number of potential issues using radio frequency identification.
Discussion and Conclusions. The main goal of this proposed solution is to detect and address signs of non-compliance with the established standards. This task can be implemented in facilities that use lifting equipment. In this case, the timely noticed RLHD defects will allow preventing production incidents. As a result, material damage can be reduced and injury statistics improved.

Keywords: monitoring the condition of removable load-handling devices, rejection of load-handling devices, defects of hooks for cargo work

Acknowledgements. The authors would like to express their gratitude to the colleagues — specialists from the Operation of Transport Systems and Logistics Department at Don State Technical University — for their assistance in preparing the research materials.

For Citation. Egelsky VV, Nikolaev NN, Egelskaya EV, Korotkiy AA. Use of Artificial Intelligence to Monitor the Reliability of Removable Load-Handling Devices. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2024;8(2):57–67. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-2-57-67

Введение. Площадки, на которых эксплуатируются грузоподъемные краны и краны-манипуляторы, относятся к опасным производственным объектам (ОПО)[1] и должны отвечать определенным требованиям безопасности. Это касается и работоспособности комплекса оборудования и его элементов, в частности

[1] *О промышленной безопасности опасных производственных объектов.* Федеральный закон №116-ФЗ от 21.07.1997. Консультант Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 18.03.2024).

съемных грузозахватных приспособлений (СГП). Исправность системы в определенной степени зависит от человеческого фактора [1], и связанные с этим риски можно снизить благодаря автоматизации и цифровизации.

Деятельность ОПО находится под надзором Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). При этом объекты эксплуатации подъемных сооружений освобождены от плановых проверок[2], а состояние оборудования контролируют соответствующие службы эксплуатирующих предприятий [2].

Ростехнадзор ежегодно публикует статистику аварий и несчастных случаев, а также выводы по результатам их расследований[3]. Эти материалы позволяют назвать основные причины инцидентов, в частности связанные с контролем состояния съемных грузозахватных приспособлений:

– отсутствие назначенных специалистов, ответственных за безопасную работу подъемных сооружений;

– допуск к работе персонала без соответствующей квалификации;

– отсутствие на объекте должностных и производственных инструкций;

– несвоевременное проведение плановых осмотров, ремонтов и технических освидетельствований подъемных сооружений и оборудования, работающего совместно с ними.

Стропальщики используют съемные приспособления для подвешивания грузов к крюку грузоподъемного крана или крана-манипулятора. От правильности выполнения этих операций зависит безаварийная работа на объекте.

Подъемные сооружения должны работать только при наличии проектов производства работ или технологических карт, обязательный элемент которых — схема строповки грузов[4]. До начала работ с технологическими картами под роспись знакомятся стропальщики, крановщики и специалисты, ответственные за безопасное производство работ. Схемы строповки вывешиваются в местах производства работ.

Второй важный фактор безопасности — исправное состояние используемых СГП. Неисправность СГП — частая причина падения с высоты грузов, самих грузозахватных приспособлений или их элементов. Кроме того, возможна потеря устойчивости подъемного сооружения. Все это может быть фактором материальных потерь и травм персонала.

В нормативно-правовых актах и должностных инструкциях зафиксировано требование постоянного мониторинга состояния СГП. Как сказано в этих документах:

– ежесменный контроль состояния СГП возложен на стропальщика, для чего ему выделяется время перед началом работ;[5]

– специалист, ответственный за безопасное производство работ подъемными сооружениями, не реже одного раза в 10 дней контролирует состояние стропов, не реже одного раза в месяц — захватов и траверс.

Результаты проверок заносятся в журнал учета и периодических осмотров съемных грузозахватных приспособлений и тары.

Выполнение этих предписаний должно исключить возможность использования неисправных, подлежащих браковке СГП.

Из статистики и литературы [2] известно, что аварийность на ОПО зависит от квалификации руководителей и ответственных специалистов. Персонал с несформированными компетенциями [3] может пренебрежительно относиться к контролю, пропускать некоторые этапы, нарушать правила осмотров СГП и документального оформления их результатов.

Корректное использование искусственного интеллекта существенно повышает эффективность контроля СГП.

В данной статье рассматривается потенциал дообучения нейронных сетей [4] для повышения качества контроля исправного состояния СГП. Предлагается внедрить нейросетевые технологии компьютерного зрения [5] для контроля исправности крюков съемных грузозахватных приспособлений.

Такой подход соответствует Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года[6].

---

[2] *О промышленной безопасности опасных производственных объектов.* Федеральный закон №116-ФЗ от 21.07.1997. Консультант Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 18.03.2024).

[3] *Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году*. Ростехнадзор. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (дата обращения: 10.03.2024).

[4] *Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения».* Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 № 461. Гарант. URL: https://base.garant.ru/400165076/ (дата обращения: 10.03.2024).

[5] *Типовая инструкция для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами. РД 10-107-96.* № 3 от 08.02.1996. Гарант. URL: https://base.garant.ru/3924623/ (дата обращения: 10.03.2024).

[6] *Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года*. Указ Президента РФ N 490 от 10.10.2019. Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/ (дата обращения: 10.03.2024).

Цель исследования — представить возможности дообучения нейросети для расширения возможности машинного зрения в определении пригодности СГП. Практическая реализация представленного решения должна повысить эффективность контроля состояния СГП и, следовательно, безопасность их применения.

Материалы и методы. Стропы предназначены для зацепки, обвязки и удерживания груза на крюке подъемного сооружения [6]. Используются разные методы их браковки. Это обусловлено различиями конструкций стропов и материалов, из которых они изготовлены. Нормы браковки определены в соответствующих документах, методики проведения испытаний описаны в госстандартах[7].

Каждый строп должен иметь маркировочную бирку с указанием завода-изготовителя, заводского номера, грузоподъемности и даты испытания. Отсутствие бирки недопустимо и является показанием к браковке. Важный элемент СГП и стропов — крюк с обязательным замыкающим устройством (замок крюка) [7].

При подготовке данной статьи методами математической статистики проанализировали результаты массового обследования СГП на заводе ООО «КЗ «Ростсельмаш»» в 2022–2023 гг., которое проводили специалисты инженерно-консультационного центра «Мысль» Новочеркасского государственного технического университета. Результаты оформили в виде актов — обязательных приложений к паспортам каждого СГП. Эти документы были исходными материалами представленной научной работы (рис. 1, 2).

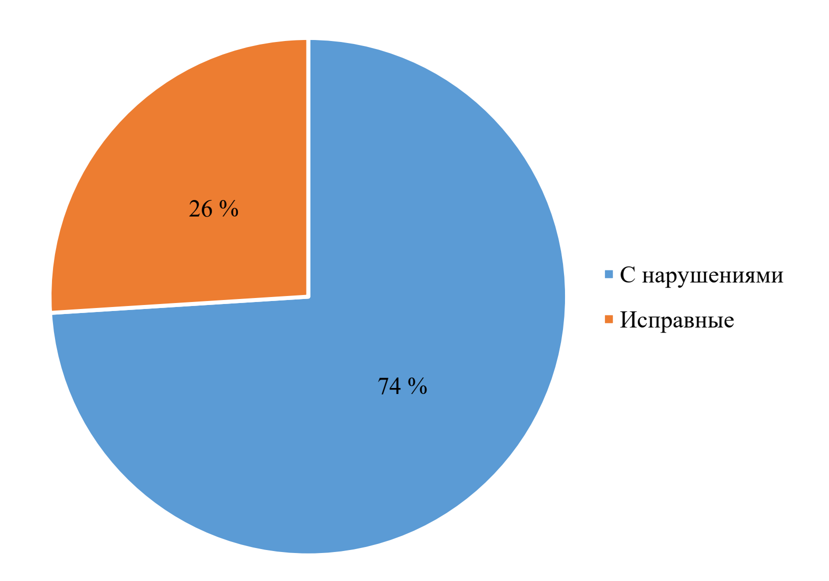


Рис. 1. Соотношение пригодных и непригодных СГП

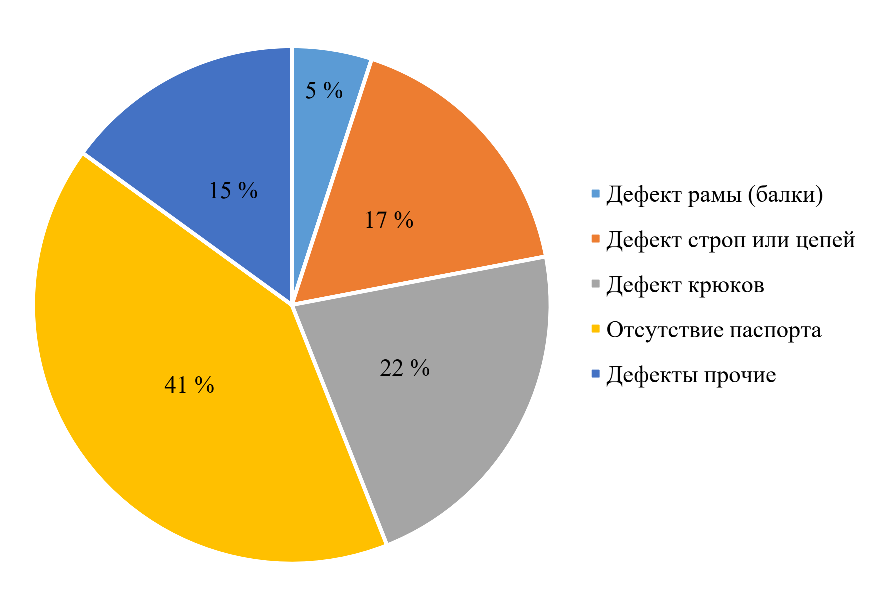


Рис. 2. Доли СГП с несоответствиями и дефектами

[7] ГОСТ 33715–2015 *Краны грузоподъемные. Съемные грузозахватные приспособления и тара. Эксплуатация.* Гарант. URL: https://base.garant.ru/71684432/ (дата обращения: 10.03.2024).

Согласно данным обследования 144 СГП, три четверти приспособлений не соответствуют требованиям нормативной документации[6] (рис. 1).

Анализ распределения дефектов и несоответствий нормативной документации показал, что чаще всего встречается отсутствие паспорта СГП (более 40 % случаев). Самый распространенных технический изъян — это дефект крюков (22 % случаев). На дефекты цепей и строп приходится 17 % зафиксированных случаев, на прочие дефекты — 15 %. Конструкционно обусловленные изъяны составили 5 %. Это изъяны специальных захватов, фиксаторов, зажимов, рам, балок и траверс.

Исследование целесообразно начинать с вопросов контроля состояния крюков. Почти в 100 % случаев их дефекты — это отсутствие или поломка фиксатора стропы (замка).

В [8] показаны возможности интегральной оценки риска при диагностике стальных канатов с использованием компьютерного зрения. Этот подход стал базовым при разработке методов оперативного выявления несоответствий и неисправностей СГП. Несоответствующие требованиям приспособления не должны допускаться к работе. Для этого следует усилить технический контроль цифровой системой мониторинга с компьютерным зрением, которое может автоматически идентифицировать зрительно определяемые неисправности.

По итогам сравнительного анализа выбрали один из алгоритмов компьютерного зрения — предобученную нейронную сеть открытого доступа YOLOv8[8]. Это новейшая версия известной модели обнаружения объектов и сегментации изображений в реальном времени. Она построена на передовых достижениях в области глубокого обучения и компьютерного зрения, обладает высокой производительностью по скорости и точности. Благодаря особенностям дизайна подходит для различных приложений и легко адаптируется к разным аппаратным платформам. YOLOv8 идентифицирует многие объекты реального мира: людей, автомобили, компьютеры, предметы мебели и т. п. Однако для обнаружения неисправностей СГП YOLOv8 нужно дополнительное обучение [9]. Его выполнили с помощью открытого онлайн-сервиса Roboflow[9], который предоставляет пользователю инструментарий для создания базы аннотированных изображений, необходимых при обучении модели YOLOv8. Сервис позволяет загружать и аннотировать изображения по заданным классам, относить их к обучающей (train), проверочной (validation) и тестовой (test) выборкам [10].

Результаты исследования. Для дообучения сети использовали неаннотированные изображения крюков разных типов, размеров и форм с фиксатором (замком) и без него (рис. 3). Их собрали из разных источников (в том числе при обследовании СГП).

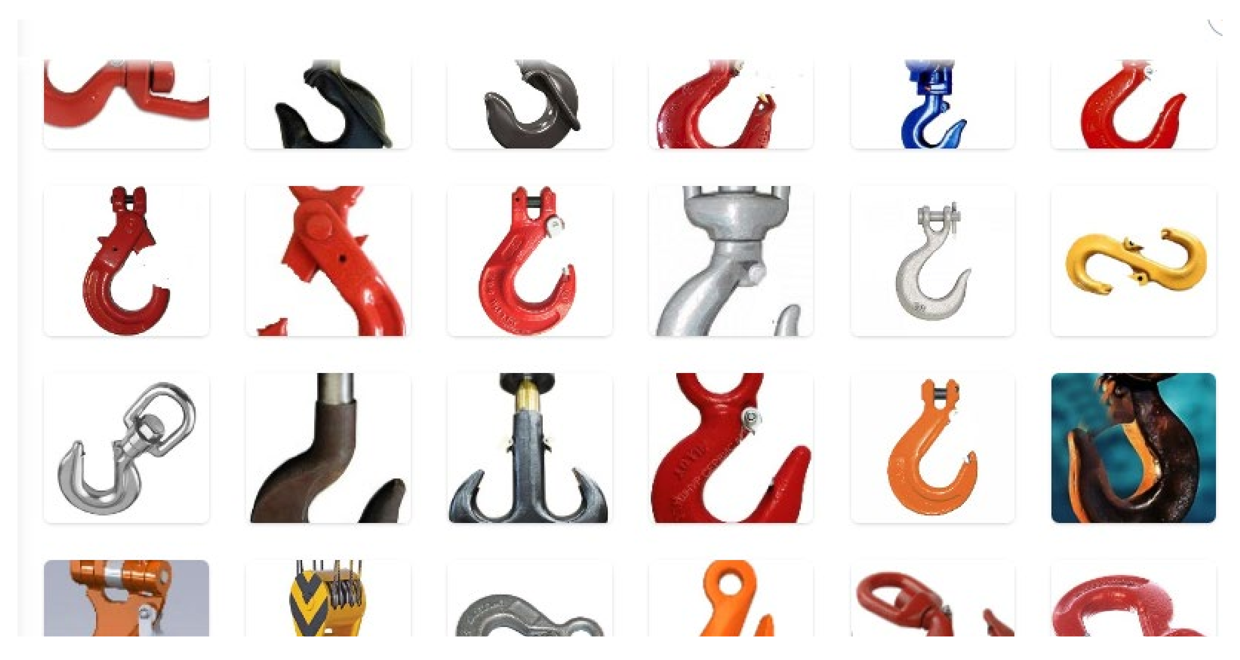


Рис. 3. Изображения крюков без замков, загруженные в сервис Roboflow

Разнообразие изображений крюков повышает качество обучения и последующего распознания, существенно сокращает число ошибок дообученной модели [11].

[8] *Introducing Ultralytics YOLOv8.* Ultralytics. URL: https://docs.ultralytics.com/ (дата обращения: 10.03.2024).
[9] *Everything you Need to Build and Deploy Computer Vision Models.* Roboflow. URL: https://roboflow.com/ (дата обращения: 10.03.2024).

На следующем этапе контуры объектов распознания выделили с помощью инструмента «умный полигон» и аннотировали по классам hookWithLock (для крюков с замком) и noLock (для крюков без замка) (рис. 4).

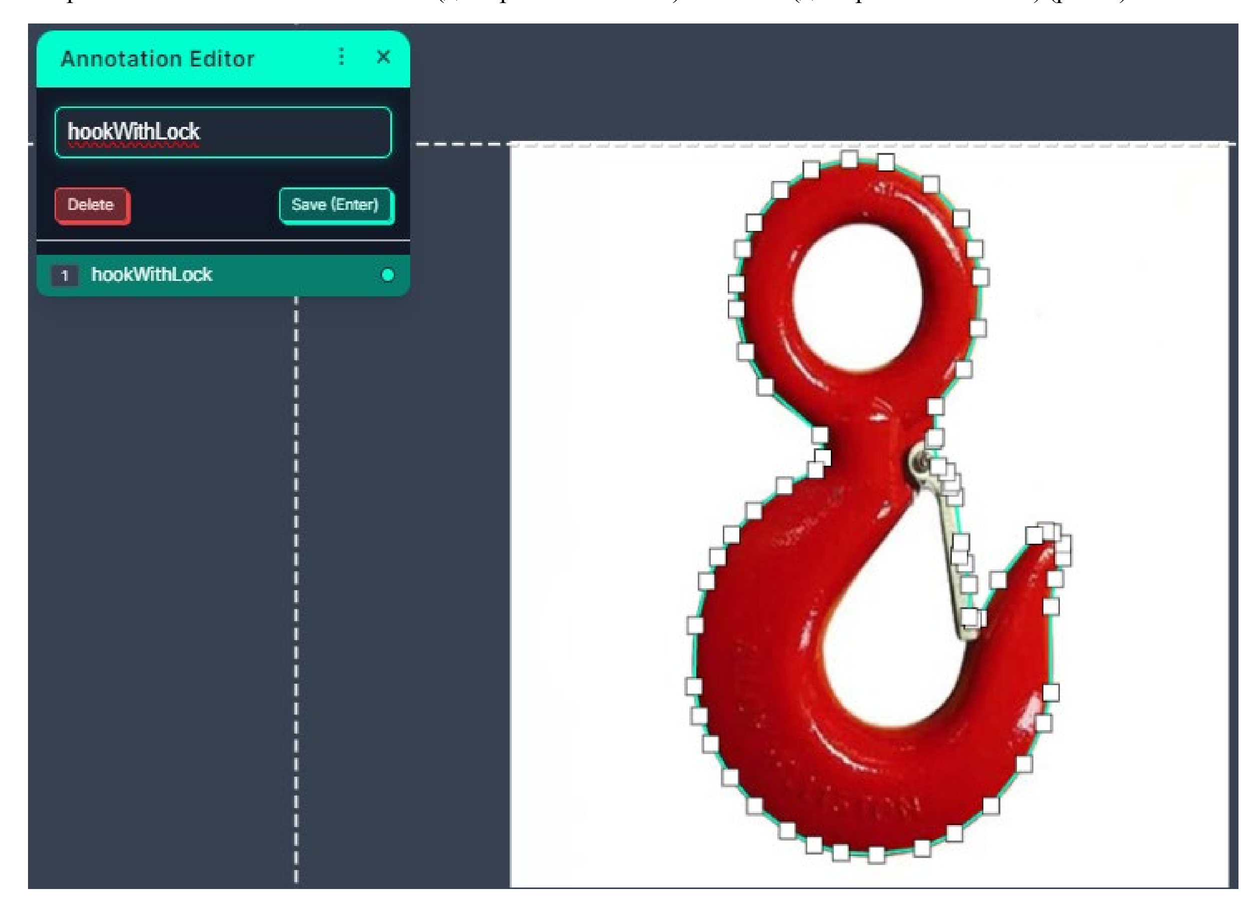


Рис. 4. Аннотирование изображения

Следующий этап методики дополнительного обучения нейронной сети в Roboflow — аугментация, т.е. увеличение объема выборки путем преобразования изображений. Для этого используются перспектива, шумы, повороты и др. В результате получили 401 аннотированное изображение (рис. 5).

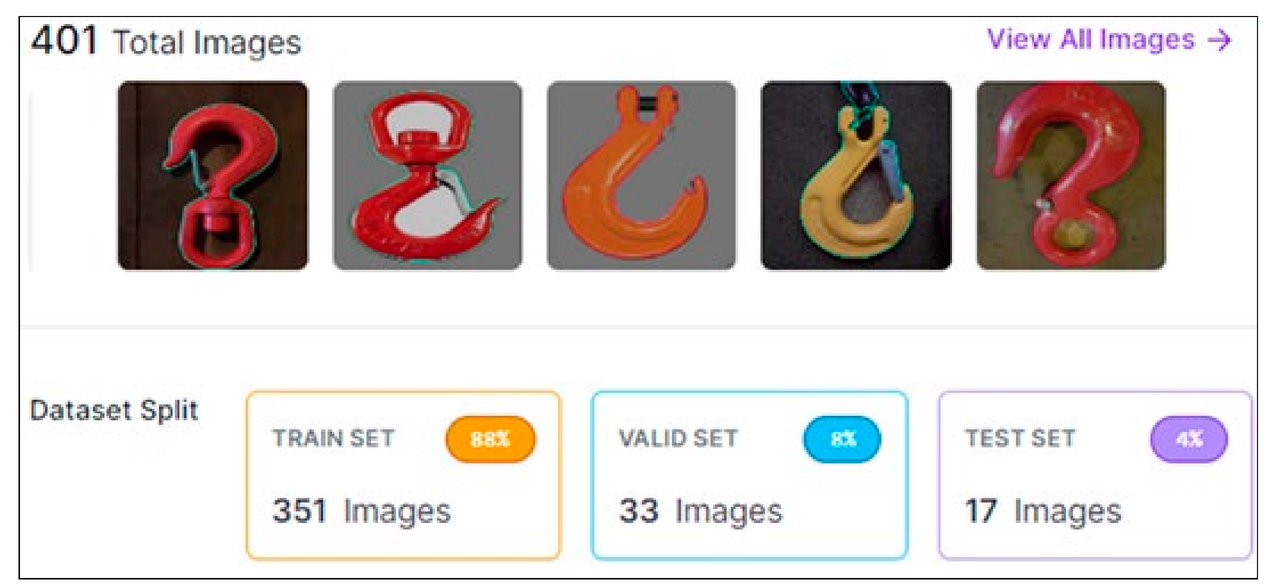


Рис. 5. Результат аннотирования и аугментации

Полученный массив изображений разделили на обучающую (train set), проверочную (valid set) и тестовую (test set) выборки в соотношении 88 %, 8 % и 4 % соответственно. Выборки используются для обучения сети и верификации результатов обучения [12].

Сеть обучалась и сверяла результаты с проверочной выборкой. При этом точность ее работы стабильно росла, а обучение завершилось за 260 эпох (рис. 6).

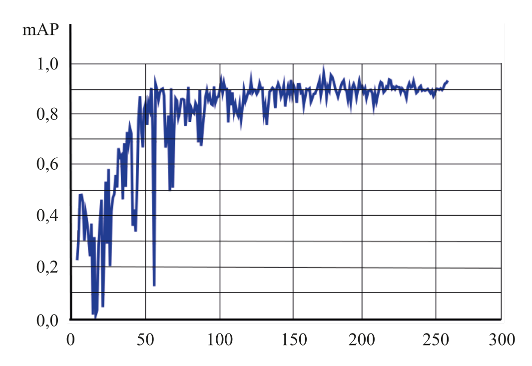


Рис. 6. Изменение точности работы нейросети компьютерного зрения в процессе обучения

В итоге получили нейросетевую модель компьютерного зрения, которая автоматически обнаруживает часто встречающийся дефект крюка СГП — отсутствие замка. Качество ее работы оценивается тремя описанными ниже показателями (рис. 7).

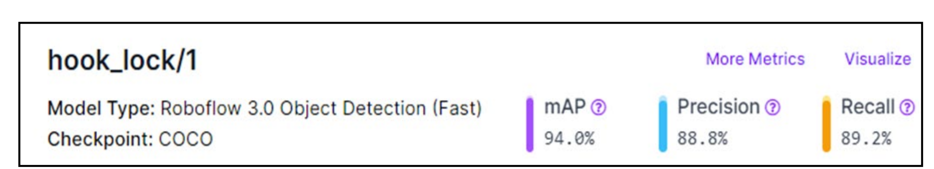


Рис. 7. Показатели качества обученности полученной нейронной сети

1. Значение средней точности (mAP), равное среднему значению показателя средней точности по всем классам в модели. В данном случае — 94 %.

2. Точность предсказания (precision) — показывает, как часто прогнозы модели оказываются верными. Зафиксированный уровень — 88,8 %.

3. Отклик (recall) — процент успешно идентифицированных меток. Показатель — 89,2 %.

Такая нейронная сеть может получать изображение в режиме реального времени с любой видеокамеры и распознавать дефект крюка (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Работа дообученной нейронной сети по обнаружению крюков: *а* — с замком; *б* — без замка

Данная нейросеть легко внедряется в программный код на любом языке программирования. Это дает возможность создать программный продукт автоматизированной оценки наличия дефектов СГП и внедрить его в производственную цифровую систему мониторинга состояния СГП [13].

В ходе обследования СГП на заводе ООО «КЗ «Ростсельмаш»» обнаружили захват ПМ-001501. Приспособление изготовлено производственной компанией «Подъем-мастер» и предназначено для подъема двигателей Ярославского моторного завода. Оно может служить примером эксплуатации неисправного СГП (рис. 9)



Рис. 9. Захват ПК ПМ-001501 без замков на крюках

Как видим, на всех трех крюках отсутствуют обязательные замки. Тем не менее приспособление эксплуатируется, что создает риски для жизни и здоровья персонала, а также ставит под угрозу целостность технических объектов. Логично предположить, что такие элементы есть в эксплуатации на многих предприятиях России. Для исключения подобных ситуаций авторы данной статьи предлагают по окончании работы размещать СГП на специальном стенде (рис. 10).

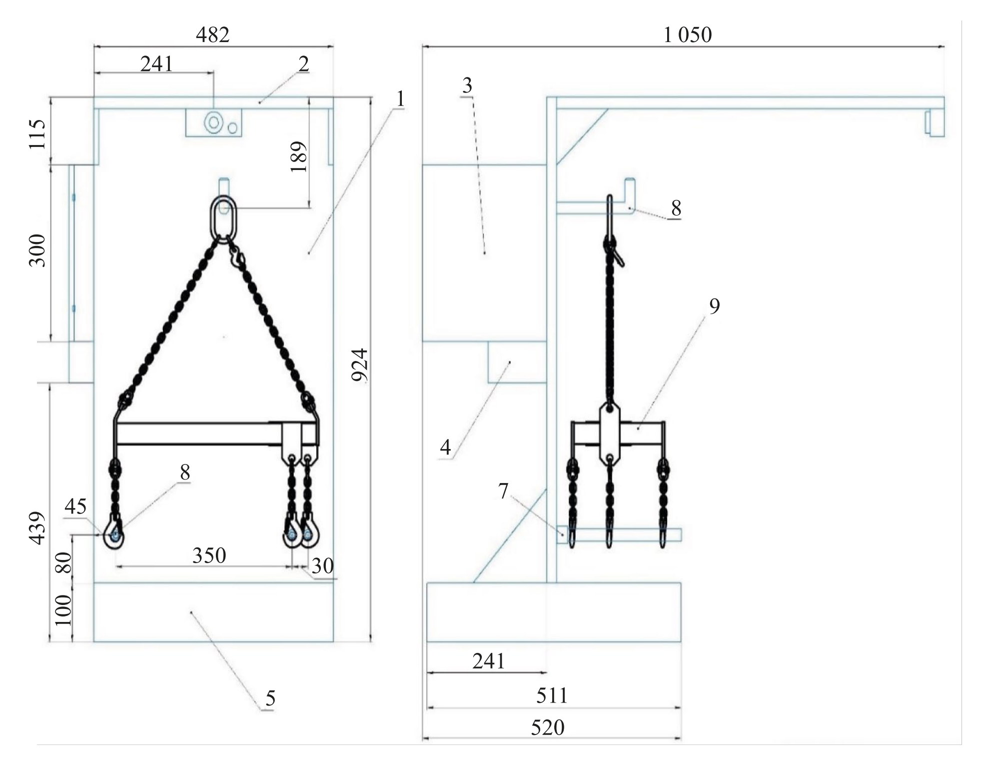


Рис. 10. Стенд хранения и контроля состояния СГП: 1 — стойка; 2 — кронштейн с камерой; 3 — ящик для паспорта СГП; 4 — электронный блок; 5 — основание; 6 — штырь крюка контактный; 7 — изолятор; 8 — подвес; 9 — съемное грузозахватное приспособление

Стенд снабжен микроконтроллерным устройством, которое отслеживает наличие паспорта СГП по RFID-метке (от англ. radio frequency identification — радиочастотная идентификация). Кроме того, с его помощью определяется правильность размещения крюков на стенде. Для этого используются тактильные пины контроллера ESP32. При правильном расположении крюков их состояние фиксируется камерой [14], установленной на кронштейне стенда. Полученное изображение интерпретируется обученной нейросетевой моделью компьютерного зрения и выдается предварительное заключение о наличии или отсутствии дефекта [15].

Обсуждение и заключение. Предложенное программное и аппаратное решение предназначено для автоматизированной оценки состояния СГП — элементов эксплуатируемых грузоподъемных кранов. Использование потенциала искусственного интеллекта повышает качество и оперативность мониторинга. В частности, позволяет своевременно выявлять отсутствие необходимых элементов и браковочных показателей СГП. Это открывает возможность существенного снижения аварийности. Адекватное внедрение предложенного подхода в производственную практику обеспечит также принятие обоснованных решений о продлении срока службы, допуске к дальнейшей эксплуатации или выбраковке СГП.

Список литературы / References

1. Егельская Е.В., Романенко М.Ю. Аспекты применения риск-ориентированного подхода на опасных производственных объектах. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2020;(4):45–49. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-45-49

Egelskaya EV, Romanenko MYu. Aspects of Application of a Risk-Based Approach to Hazardous Production Facilities. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2020;(4):45–49. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-45-49

2. Егельский В.В., Николаев Н.Н., Егельская Е.В., Короткий А.А. Влияние компетенций специалистов грузоподъемных кранов на вероятность возникновения аварийных ситуаций. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2023;(2):70–79. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-70-79

Egelsky VV, Nikolaev NN, Egelskaya EV, Korotkiy AA. Influence of the Competencies of Lifting Crane Specialists on the Probability of Emergencies. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2023;(2):70–79. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-70-79

3. Sanaz Sadeghi, Nazi Soltanmohammadlou, Payam Rahnamayiezekavat. A Systematic Review of Scholarly Works Addressing Crane Safety Requirements. *Safety Science.* 2021;133:105002. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105002

4. Числов О.Н., Лябах Н.Н. Нейросетевое исследование транспортных систем. *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник.* 2021;(10):9–13. https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-10-2

Chislov ON, Lyabakh NN, Kolesnikov MV, Bakalov MV, Zadorozhny VM. Neural Network Investigation of Transport Systems. *Transport: science, equipment, management (Scientific information collection).* 2021;(10):9–13. https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-10-2 (In Russ.).

5. Турлуев Р.Р. Нейросети в системах корпоративного управления. В: *Труды II Всероссийской научно-практической конференции «Цифровизация: Россия и СНГ в контексте глобальной трансформации».* Петрозаводск: Новая Наука; 2021. С. 7–16. https://doi.org/10.46916/12042021-2-978-5-00174-191-6

Turluyev RR. Neural Networks in Corporate Governance Systems. In: *Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference "Digitalization: Russia and the CIS in the context of global transformation".* Petrozavodsk: Novaya Nauka; 2021. P. 7–16. https://doi.org/10.46916/12042021-2-978-5-00174-191-6 (In Russ.).

6. Shuai Kang, Hongbing Wang. Crane Hook Detection Based on Mask R-CNN in Steel-making Plant. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1575:012151. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1575/1/012151

7. Weiguang Jiang, Lieyun Ding. Unsafe Hoisting Behavior Recognition for Tower Crane Based on Transfer Learning. *Automation in Construction*. 2024;160:105299. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105299

8. Панфилов А.В., Николаев Н.Н., Юсупов А.Р., Короткий А.А. Интегральная оценка риска при диагностике стальных канатов с использованием компьютерного зрения. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2023;(1):56–69. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-56-69

Panfilov AV, Nikolaev NN, Yusupov AR, Korotkiy AA. Integral Risk Assessment in Steel Ropes Diagnostics Using Computer Vision. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2023;(1):56–69. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-56-69

9. Piskoty G, Affolter Ch, Sauder M, Nambiar M, Weisse B. Failure Analysis of a Ropeway Accident Focussing on the Wire Rope's Fracture Load under Lateral Pressure. *Engineering Failure Analysis*. 2017;82:648–656. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.05.003

10. Aimin Zhu, Zhiqian Zhang, Wei Pan. Technologies, Levels and Directions of Crane-Lift Automation in Construction. *Automation in Construction*. 2023;153:104960. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104960

11. Zhe Sun, Zhufu Zhu, Ruoxin Xiong, Pingbo Tang, Zhansheng Liu. Dynamic Human Systems Risk Prognosis and Control of Lifting Operations during Prefabricated Building Construction. *Developments in the Built Environment*. 2023;14:100143. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100143

12. Vahid Kargar, Mehdi Jahangiri, Moslem Alimohammadlu, Mojtaba Kamalinia, Marziyeh Mirazahossieninejad. Risk Assessment of Mobile Crane Overturning in Asymmetric Tandem Lifting (ATL) Operation Based on Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA). *Results in Engineering*. 2022;16:100755. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100755

13. Szpytko J, Duarte YS. Exploitation Efficiency System of Crane Based on Risk Managemen. In: *Proceedings of the International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics — IN4PL.* SciTePress; 2020. P. 24–31. https://doi.org/10.5220/0010123200240031

14. Stroganov YuN, Belov VV, Belova NN, Maksimov AN, Ognev OG. Analysis of Model for Assessing the Road Train Movement Stability. *Journal of Physics: Conference Series.* 2021;1889:042051 https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/4/042051

15. Haoran Ding, Mingxing Li, Ray Y. Zhong, George Q. Huang, Multistage Self-Adaptive Decision-Making Mechanism for Prefabricated Building Modules with IoT-Enabled Graduation Manufacturing System. *Automation in Construction*. 2023;148:104755. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104755

Об авторах:

Владислав Витальевич Егельский, аспирант кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, sp_5sp_6pb_97n14@mail.ru

Николай Николаевич Николаев, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 8640-3508, ORCID, ResearcherID, ScopusID, nnneks@yandex.ru

Елена Владимировна Егельская, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 4663-9101, ORCID, egelskaya72@mail.ru

Анатолий Аркадьевич Короткий, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 1948-3628, ORCID, ScopusID, korot@novoch.ru

Заявленный вклад авторов:

В.В. Егельский — подготовка данных для обучения нейронной сети.

Н.Н. Николаев — разработка методики исследования, обучение нейронной сети.

Е.В. Егельская — оценка состояния вопроса и актуальности исследования, участие в формировании исходной концепции, оформление результатов исследования.

А.А. Короткий — обобщение результатов исследования, формулирование выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 22.03.2024
Поступила после рецензирования 05.04.2024
Принята к публикации 10.04.2024

About the Authors:

Vladislav V. Egelsky, Postgraduate Student of the Transport Systems Operation and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, sp_5sp_6pb_97n14@mail.ru

Nikolay N. Nikolaev, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Transport Systems Operation and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), SPIN-code: 8640-3508, ORCID, ResearcherID, ScopusID, nnneks@yandex.ru

Elena V. Egelskaya, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Transport Systems Operation and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), SPIN-code: 4663-9101, ORCID, egelskaya72@mail.ru

Anatoly A. Korotkiy, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Head of the Transport Systems Operation and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), SPIN-code: 1948-3628, ORCID, ScopusID, korot@novoch.ru

Claimed Contributorship:
VV Egelsky: data preparation for neural network training.
NN Nikolaev: development of research methodology, neural network training.
EV Egelskaya: assessment of the state of the issue and the relevance of the research, participation in the formulation of the initial concept, design of the research results.
AA Korotkiy: generalization of the research results, formulation of the conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final version of the manuscript.

Received 22.03.2024
Revised 05.04.2024
Accepted 10.04.2024